De l'influence de la position aérodynamique sur le pédalage et le métabolisme des coureurs cyclistes

Autor(en): **Gnehm, Peter / Reichenbach, Stephan**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Macolin : revue mensuelle de l'École fédérale de sport de Macolin et Jeunesse + Sport**

Band (Jahr): **52 (1995)**

Heft 7

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-997840

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

De l'influence de la position aérodynamique sur le pédalage et le métabolisme des coureurs cyclistes

Peter Gnehm et Stephan Reichenbach
Traduction et adaptation: Dominique Müller et Patrick Pfister

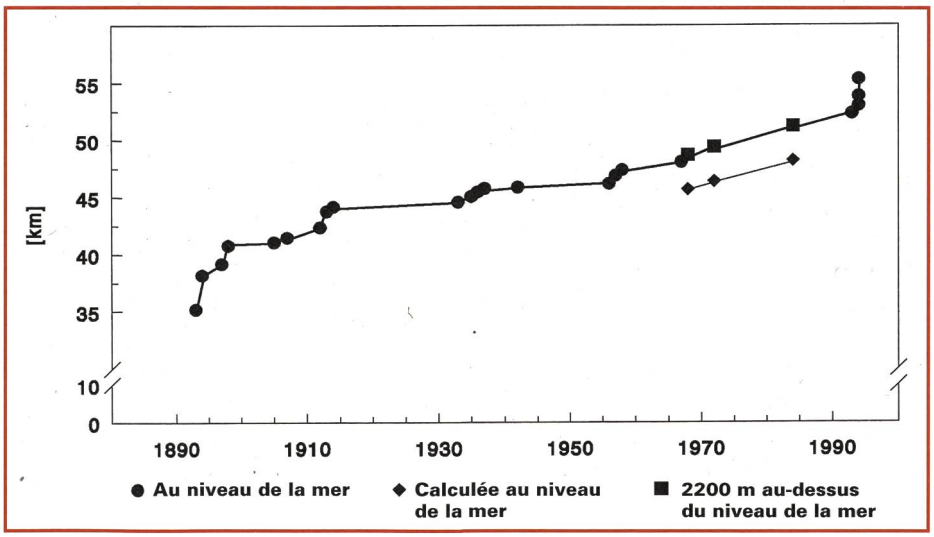
Le vélo jouit d'une longue tradition en Suisse, qu'il s'agisse du simple moyen de locomotion ou de l'engin sportif. L'étude que nous publions ci-dessous porte sur l'influence qu'exerce la position aérodynamique sur l'indice d'efficacité du pédalage et sur le métabolisme. En conclusion: la position aérodynamique vaut largement la peine d'être exploitée.

Depuis les succès internationaux remportés par les Rominger, Richard Zülle et compagnie, la «petite reine» connaît un regain d'intérêt auprès du public, comme à l'époque légendaire de Kubler et Koblet.

Introduction

Indépendamment des résultats étonnants obtenus par les athlètes suisses, la course cycliste a connu une véritable révolution avec l'apparition, en 1989, du guidon aérodynamique utilisé par les triathlètes. Depuis la spectaculaire victoire de Greg Lemond la même année, dans le 76e Tour de France, victoire qu'il doit d'ailleurs à ce fameux guidon aérodynamique qu'il utilisait alors pour la première fois dans l'épreuve finale contre la montre, pratiquement tous les records du monde sur route et sur piste ont été pulvérisés. Qui aurait cru, six ans auparavant, que le record de Francesco Moser, pourtant pressenti comme le record du siècle, allait être battu de quatre kilomètres en l'espace de deux ans seulement, par quatre autres cyclistes, pourtant privés des avantages de l'altitude de Mexico City *(ill. 1)*?

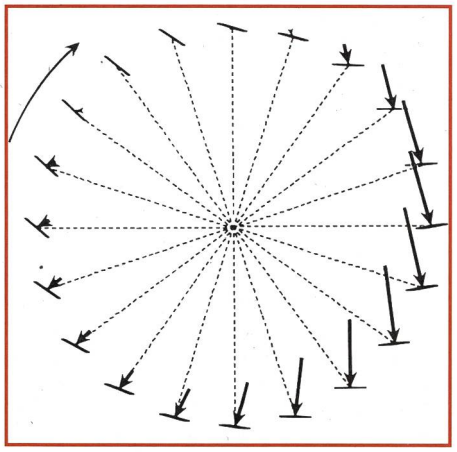
Alors que les méthodes d'entraînement ont relativement peu évolué, la véritable explosion qui s'est produite au niveau de la vitesse s'explique surtout par les progrès réalisés en aérodynamique. Différentes études en soufflerie ont permis de démontrer que l'introduction du guidon aérodynamique réduit la résistance de l'air de 10 pour cent par rapport à la position du contre-la-montre traditionnelle (mains en bas du guidon). Sachant qu'en cyclisme, au-delà d'une vitesse de 40 km/h, plus de 90 pour cent de la performance consiste à vaincre la résistance de l'air, les améliorations en matière d'aérodynamisme ont donc la priorité absolue.



Ill. 1: Evolution du record du monde de vitesse sur piste de 1893 à 1994.

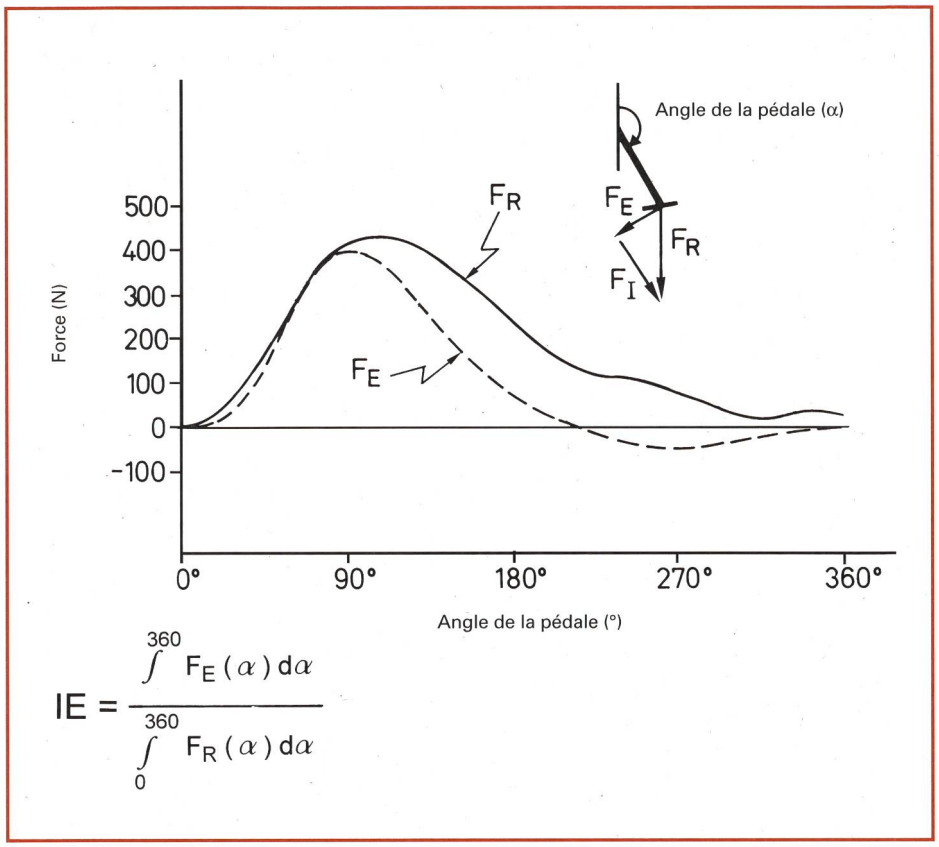
Connaissances actuelles

Outre le travail d'amélioration de l'aérodynamique, c'est-à-dire les efforts réalisés en vue de diminuer les forces freinantes, l'étude des facteurs biomécaniques – en cyclisme, avant tout les forces exercées sur le pédalier en vue de faire avancer l'engin – ouvre aussi des perspectives pour améliorer les performances: depuis 1980, on est parvenu à mesurer correctement ces forces, comme en témoignent les nombreuses publications scientifiques parues sur le sujet au cours des quinze dernières années.



Ill. 2: Pédalage à 400 Watt et 100 t/min d'un cycliste d'élite sur piste.

Bien que les scientifiques soient parvenus entre-temps à analyser et à comprendre les forces exercées par le cycliste sur la pédale, les résultats escomptés n'ont pas débouché sur des conséquences pratiques pour le sport de haut niveau et n'ont pas apporté d'améliorations probantes pour l'entraînement ou la compétition. L'ensemble des forces exercées sur la pédale (FR) se décompose en une force effective (FE), qui, perpendiculaire à la manivelle, fait avancer le vélo, et en une force ineffective (FI), l'énergie ainsi dépensée étant perdue en forces de tension sur les manivelles, le pédalier et le cadre. L'*illustration 2* présente un exemple typique des forces exercées sur la pédale lors d'une rotation complète. Jusqu'à présent, l'efficacité de la pédalée s'est mesurée en calculant l'indice d'efficacité du pédalage (IE), qui



$$IE = \frac{\int_{0}^{360} F_E(\alpha)\,d\alpha}{\int_{0}^{360} F_R(\alpha)\,d\alpha}$$

Ill. 3: Forces résultantes (FR) et effectives (FE) exercées sur une rotation de manivelle et indice d'efficacité (IE).

est le rapport entre les forces effectives et les forces résultantes, c'est-à-dire le quotient des surfaces sous les courbes de FE et FR *(ill. 3)*.

Depuis des décennies on a parlé de «pédalage en arrondi», pédalée théoriquement la plus efficace possible, car justement exercée perpendiculairement à la manivelle par la pointe du pied, via la pédale. Cependant, les recherches en biomécanique ont démontré que le «pédalage en arrondi» ne suffit pas à reproduire les processus complexes statiques et dynamiques impliqués dans la course cycliste. Ce n'est qu'au cours de ces dernières années qu'il a été prouvé que les meilleurs coureurs cyclistes eux-mêmes ne parviennent pas à transmettre beaucoup plus de 50 pour cent du total des forces exercées (FR) de façon efficace sur le pédalier (FE). Ce pourcentage apparemment faible est dû principalement au fait que, dans le dernier tiers du tour de pédalier, la traction n'est pas exercée vers le haut, car il existe des forces perpendiculaires négatives qui doivent être surcompensées par l'autre jambe. Il semble aussi, pour différentes raisons, qu'un bon coureur cycliste ne soit pas en mesure d'effectuer un travail de jambes efficace sur l'ensemble des 360° de la rotation. Que le cycliste amateur se console donc: les «pros» n'ont pas, au bout du compte, un pédalage plus «arrondi» que lui et il est impossible d'établir la distinction entre coureurs de haut niveau et coureurs du dimanche d'après la seule répartition des forces de pédalage.

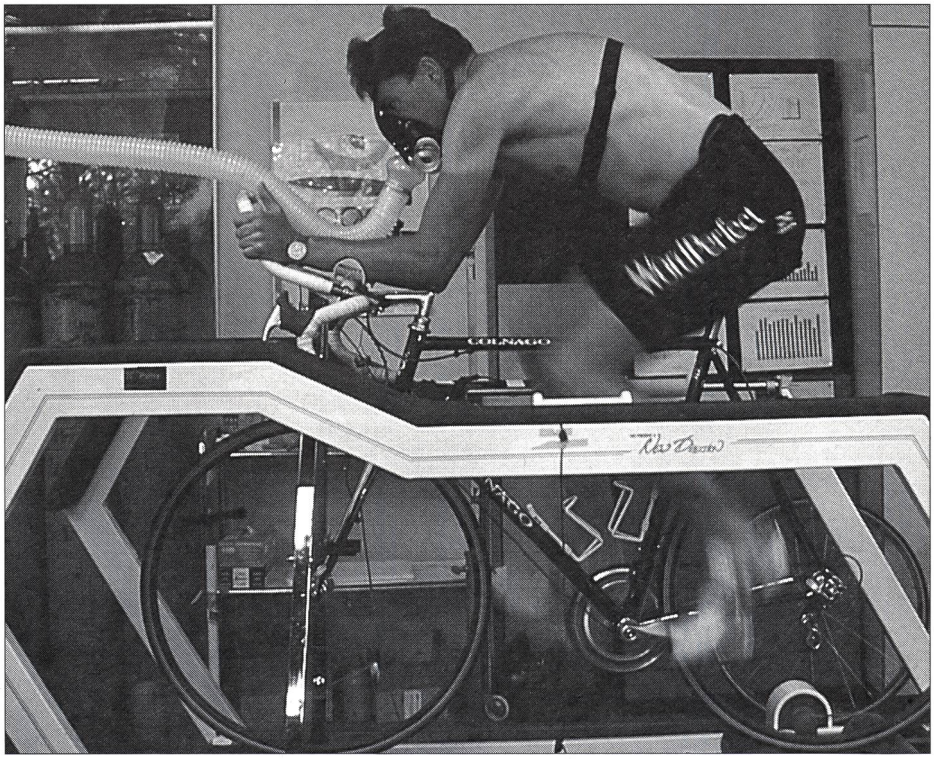
Vérification

Dans la présente étude, nous voulons vérifier si la position aérodynamique – subjectivement plus difficile à réaliser – a une influence sur l'indice d'efficacité du pédalage. Pour ce faire, nous nous proposons d'étudier et de comparer le rapport entre les différentes positions adoptées sur un vélo et leur IE. Parallèlement à cela, nous nous intéresserons également au rapport entre l'IE et les dépenses énergétiques sans prendre la résistance de l'air en considération, cherchant à savoir si un pédalage moins efficace en théorie entraînait une augmentation de la consommation d'oxygène et des pulsations cardiaques.

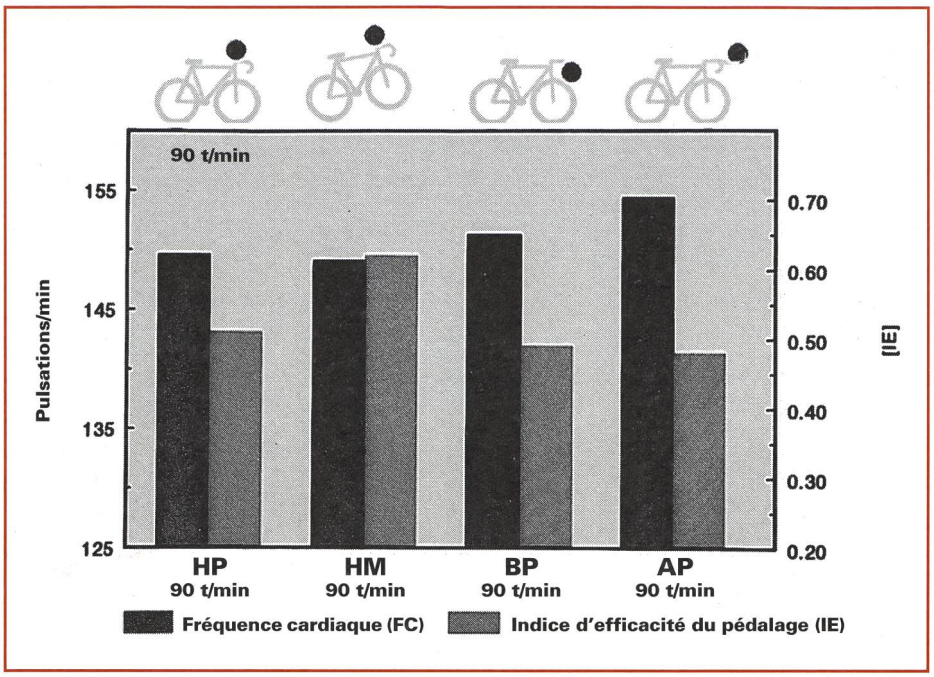
Méthodes d'investigation

Pour effectuer nos tests médico-sportifs, nous avons travaillé avec 14 coureurs cyclistes suisses (11 amateurs de haut niveau et 3 professionnels). Après les avoir soumis dans la matinée au test de Conconi sur un vélo ergométrique afin de déterminer leur consommation maximale d'oxygène, l'après-midi fut consacré aux essais concernant les différentes positions. Les tests ont été réalisés dans le laboratoire de l'Institut des sciences du sport de Macolin; pour cette expérience, chaque athlète a utilisé sa propre bicyclette, fixée sur un rouleau. Les essais avaient pour objet l'étude des quatre positions suivantes, standardisées et classées par ordre aléatoire au préalable:

Adresse des auteurs:
Peter Gnehm et *Stephan Reichenbach*
Section d'anatomie systématique
Institut d'anatomie de l'Université de Berne
3000 Berne 9



Dieter Runkel dans la position aérodynamique AP sur le rouleau du laboratoire.



Ill. 4: Résultats concernant l'étude des positions avec IE et la fréquence cardiaque FC pour les quatre positions de base HP, HM, BP et AP.

- **HP:** position haute (mains en haut du guidon de course), terrain plat, fréquence de pédalage 90 t/min.
- **HM:** position haute, simulation d'un effort en montée (pente de 8 pour cent), fréquence de pédalage 70 t/min.
- **BP:** position basse, mains en bas du guidon de course traditionnel, terrain plat, fréquence de pédalage 90 t/min.
- **AP:** position aérodynamique sur le guidon, terrain plat, fréquence de pédalage 90 t/min.

Chaque athlète a dû pédaler pendant cinq minutes dans chacune des quatre positions susmentionnées, à 70 pour cent de sa consommation maximale d'oxygène; durant les deux dernières minutes, nous avons enregistré les forces exercées par le pédalage, la consommation d'oxygène, la fréquence cardiaque et le taux de lactate sanguin. Avec cette méthode, la performance moyenne de tous les coureurs s'est élevée à 300 Watt, ce qui correspond à peu près au degré d'effort déployé pour une course sur route de quatre ou cinq heures par des amateurs-élite.

Résultats

Les résultats ont permis d'établir le schéma suivant *(ill. 4)*: l'IE a empiré à mesure que le cycliste adoptait une position plus basse, si bien que la position haute HM s'est révélée être la plus efficace (de 20 pour cent au moins – différence significative). La différence de 6 pour cent entre HP (IE: 0,51) et AP (IE: 0,48) s'est avérée suffisamment importante pour être significative, tandis que la position BP, plus basse que HP mais plus haute qu'AP a eu un IE intermédiaire entre ces deux positions (différence non significative).

Comme prévu, la consommation d'oxygène et les fréquences cardiaques étaient en corrélation et ont augmenté parallèlement à l'inclinaison du tronc, la différence entre HP et AP (1,2 ml/kg/min soit 5 pulsations) s'élevant à 3 pour cent (significatif). Même si nous avons constaté à première vue un rapport entre l'indice d'efficacité du pédalage et les coûts métaboliques (mis en évidence par la consommation d'oxygène), nous n'avons pas pu démontrer que les deux paramètres étaient en corrélation: la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque n'ont pas diminué dans la position haute HM (fréquence de pédalage lente), pourtant la plus efficace du point de vue du pédalage, alors que la fréquence de pédalage était moins élevée par rapport à la position haute HP. Par ailleurs, le taux de lactate sanguin n'a pas excédé, pour aucun des coureurs, 1,6 mMol/l et est toujours resté nettement en dessous du seuil anaérobie.

Analyse

La position aérodynamique a révolutionné le cyclisme moderne. La majorité des cyclistes admet que cette posture extrême exige une certaine période d'adaptation et rend un travail économique des jambes plus difficile.

Notre étude a permis de démontrer que si la position aérodynamique est plus mauvaise du point de vue de l'efficacité de pédalage (la position de FE par rapport à FR étant plus petite que pour les autres positions), elle n'entraîne qu'une augmentation négligeable des coûts métaboliques: lors du test réalisé par nos athlètes à une puissance moyenne de 300 Watt, nous avons constaté une augmentation de 8 Watt entre la position haute et la position aérodynamique.

Or il vaut la peine d'établir une comparaison entre cette augmentation et les avantages résultants de la position aérodynamique. En effet, si l'on tient compte d'une réduction de la résistance à l'air de 30 pour cent environ, qui s'explique par la diminution de la surface frontale et par la réduction du coefficient de résistance de l'air, il en résulte, en fait, une économie de 100 Watt, ce qui signifie qu'à pulsations cardiaques égales, on peut rouler à 42 au lieu de 37 km/h!

Conclusion

Cette comparaison quantitative permet de tirer des conclusions importantes pour la pratique: étant donné que la position aérodynamique n'entraîne qu'un surcroît de dépenses minime au niveau du métabolisme, il vaut donc largement la peine d'en exploiter pleinement les possibilités aérodynamiques. Bref, si cette position extrêmement plate comporte quelques inconvénients, certains subjectifs, d'autres mesurables, ceux-ci ne pèsent finalement pas lourd en regard des avantages qu'elle offre.

Chacun peut optimaliser sa position. Pour cela, il n'est pas nécessaire de disposer d'un laboratoire équipé d'une soufflerie: une piste circulaire plate et un pulsomètre suffisent amplement. En maintenant une vitesse constante, la position idéale est celle pour laquelle le nombre de pulsations cardiaques est le plus bas. Une bonne position aérodynamique exige, en plus d'une certaine période d'adaptation, une musculature ischio-crurale bien étirée, qui permettra à tout un chacun de rivaliser un jour avec Tony Rominger et ses comparses.

Remarque des auteurs

Pour obtenir des indications plus précises et une liste de références, il est conseillé de consulter la revue «Schweizerische Zeitschrift für Medizin und Traumatologie» 1/95.

Le sujet présenté dans cet article a été le thème de dissertation des études de médecine de *Peter Gnehm* et *Stephan Reichenbach.*

Nous adressons nos remerciements à l'Ecole fédérale de sport de Macolin pour l'aide généreuse qui nous a été accordée. Nous exprimons également notre gratitude à tous les coureurs et plus spécialement à Felix Pfister et Guido Bergmaier et à leur équipe. ■